

Livre blanc

Maintenance prédictive

Découvrez comment une stratégie de maintenance innovante peut assurer le succès de votre entreprise.



La maintenance prédictive garantit le succès de votre entreprise

Dans le secteur industriel, les temps d'arrêt imprévus et les défaillances des machines et systèmes mettent en péril le succès de l'entreprise.

En cas d'arrêt de production, l'entreprise n'est plus en mesure de respecter les délais de livraison, cela peut entraîner des demandes de dommages-intérêts, des amendes ou des annulations de commandes. Il est donc essentiel pour le succès de votre entreprise d'entretenir correctement les machines et les systèmes,

Toute entreprise de production industrielle doit mettre au point une stratégie de maintenance qui minimise les temps d'arrêt et réduit les risques de pannes inattendues et les coûts supplémentaires qu'elles entraînent.

Dans le passé, cette stratégie consistait principalement à effectuer des maintenance régulières et à réparer en cas de panne, mais à l'instar des grandes entreprises, les PME s'orientent de plus en plus vers la maintenance prédictive à l'aide de capteurs modernes, d'équipements de mesure et de l'intelligence artificielle. Cette méthode permet de repérer les causes potentielles de défaillance à un stade précoce et d'éviter les pannes imprévues et les temps d'arrêt dus à des réparations imprévues. Le mot-clé : maintenance prédictive.

Découvrez dans ce livre blanc comment utiliser les possibilités de la digitalisation pour une stratégie de maintenance préventive et prédictive dans la production industrielle.

Sommaire

1. Maintenance prédictive et maintenance dans l'industrie	4
<hr/>	
Pertes dues aux arrêts de production : chiffres et faits	5
Les arrêts de production, un facteur de coût	6
2. Étape 1 : De la maintenance réactive à la maintenance préventive	7
<hr/>	
3. Étape 2 : Maintenance préventive : planifier au lieu de prendre des risques	8
<hr/>	
4. Étape 3 : Maintenance prédictive : des données en temps réel pour une maintenance optimale	9
<hr/>	
Maintenance préventive vs. maintenance prédictive	9
L'opération de maintenance prédictive	10
Les avantages de la maintenance prédictive	10
5. La maintenance préventive et prédictive en pratique	12
<hr/>	
Analyse des vibrations	13
Analyse infrarouge	14
Surveillance des circuits	15
6. Les meilleures pratiques	17
<hr/>	
7. Conclusion	18
<hr/>	
Sources	19
<hr/>	

Maintenance prédictive et maintenance dans l'industrie

Les temps d'arrêt imprévus coûtent cher à l'entreprise : en effet, si les pièces de rechange ne sont pas immédiatement disponibles, les machines restent à l'arrêt pendant une longue période et la production s'interrompt. C'est pourquoi il est important de repérer les signes d'une panne imminente avant qu'elle ne se produise pour pouvoir commander les pièces de rechange à temps et programmer les travaux de maintenance. Il est ainsi possible de minimiser les perturbations de la production.

Autrefois, le fonctionnement des machines et des installations était souvent opaque : l'usure des matériaux, les pièces endommagées ou d'autres signes de vétusté n'étaient détectés qu'au cours de la maintenance programmée ou suite à une panne soudaine qui interrompait la production.

Aujourd'hui, grâce à des capteurs et à des solutions qui détectent les moindres changements à l'intérieur des machines, il est possible d'éviter les mauvaises surprises, par exemple en remplaçant un composant endommagé avant que la machine ne tombe en panne ou que des dysfonctionnements ne se produisent.

L'intégration de technologies modernes, comme les capteurs numériques et l'intelligence artificielle, permet de réduire les temps d'arrêt imprévus et de prolonger considérablement la durée de vie des machines. Ce livre blanc décrit comment tirer parti de la digitalisation pour une stratégie de maintenance préventive et prédictive.

Pertes dues aux arrêts de production : chiffres et faits

80%

Selon l'International Society of Automation (ISA), 80 % des entreprises ne sont pas en mesure d'estimer avec précision le coût des arrêts de production. Pourtant, ces arrêts représentent l'un des coûts les plus importants et peuvent même mettre l'entreprise en péril.



L'ampleur des pertes réelles en cas de panne dépend principalement de la taille et du secteur de l'entreprise, et d'autres facteurs individuels (coûts). Les conséquences sont souvent largement sous-estimées. Lorsque la production s'arrête à cause d'une machine ou d'une installation défectueuse et que la résolution de la panne prend du temps, les coûts augmentent rapidement. « Les coûts s'élèvent très vite à plusieurs centaines d'euros par heure et par installation. Dans certaines entreprises, les coûts annuels liés à l'arrêt imprévu des machines sont de l'ordre de plusieurs dizaines de milliers d'euros », explique Jan Dornbach, prestataire de services de maintenance.

50%

Selon une enquête de Senseye menée auprès de 56 grandes entreprises des secteurs de la fabrication et de la transformation, le coût des pannes a fortement augmenté depuis 2020. En 2022, les pannes non planifiées coûtaient à l'entreprise au moins 50 % de plus qu'en 2019/2020. En moyenne, une usine perd 25 heures de production par mois en raison d'arrêts imprévus. L'industrie automobile est particulièrement touchée : une heure de production en moins équivaut à une perte de plus de 2 millions de dollars.

11%

Selon Senseye, environ 11 % des ventes sont perdues chaque année en raison d'arrêts de production.

5%

Une étude réalisée par eMaint révèle qu'une entreprise perd au moins 5 % de sa capacité de production à cause des temps d'arrêt, et jusqu'à 20 % dans de nombreux cas. Les industries de l'automobile et de la métallurgie sont celles qui enregistrent le plus grand nombre de temps d'arrêt chaque année.

Les arrêts de production, un facteur de coût

Comme indiqué plus haut, chaque minute d'inactivité coûte de l'argent à l'entreprise : pendant cette période, la production est stoppée et aucun bénéfice n'est réalisé, tandis que les coûts fixes (frais de personnel, entretien du site de production, etc.) sont maintenus. Ce manque à gagner est encore plus important si la recherche de pannes ou l'obtention de pièces de rechange prend du temps. À cela s'ajoutent les dépenses supplémentaires liées à la réparation des pannes et des erreurs, qui sont souvent sous-estimées.

Coûts de personnel ou de services	Perte d'opportunités de vente	Délais d'attente ou retards de livraison
Atteinte à la réputation	Heures supplémentaires cumulées	Récupérations

Les raisons les plus courantes des temps d'arrêt non planifiés se trouvent généralement dans les structures des entreprises elles-mêmes.

On constate en général les problèmes suivants :

- pas ou peu de transparence sur l'état des machines
- maintenance mal planifiée
- maintenance inadaptée en raison d'un manque de compétences ou d'outils
- multiplication des erreurs de la part des employés

Pour toute entreprise, et en particulier pour les PME, il est crucial de prendre en compte l'ensemble de ces facteurs afin de déterminer le coût réel d'un arrêt de production. L'idéal reste bien sûr de les éviter... L'optimisation intelligente des processus de maintenance et de réparation représente la meilleure solution.



Étape 1 : De la maintenance réactive à la maintenance préventive

De nombreuses entreprises, en particulier les petites entreprises, ont encore recours à la maintenance réactive (Reactive Maintenance) en plus de leur maintenance régulière. Le principe est simple : une réparation non planifiée n'est effectuée que lorsqu'une machine ou une installation n'est plus opérationnelle. Cette méthode de maintenance remonte à une époque où les machines étaient moins complexes, ce qui rendait les pannes rares et les réparations relativement simples. En outre, il n'existait pas à l'époque de capteurs modernes ni de capacités de traitement des données : ces éléments sont apparus avec la digitalisation des entreprises.

Aujourd'hui, en raison de la complexité croissante des installations de production et de la mise en réseau numérique des machines, la maintenance réactive n'est généralement plus la méthode de maintenance la plus efficace et la plus rentable. Le principal inconvénient de cette méthode est qu'elle n'est pas planifiable : les pannes ne peuvent pas être anticipées et peuvent survenir au pire moment, par exemple lorsque la situation est déjà tendue en raison d'un surcroît de commandes ou d'un manque de personnel. En outre, il est impossible de prévoir l'intervention du personnel et de faire l'inventaire des pièces de rechange. La maintenance préventive en revanche permet une meilleure planification et une réduction efficace des coûts.

Étape 2 : Maintenance préventive - Planifier au lieu de prendre des risques

Avec la maintenance préventive, les entreprises agissent de manière proactive. L'objectif est d'anticiper les pannes et d'effectuer l'entretien et les réparations avant que la production ne s'arrête. Pour ce faire, les sessions de maintenance sont planifiées et visent à réduire le risque de panne ou de dysfonctionnement sur une machine.

Cette méthode permet de réaliser des économies considérables par rapport à la maintenance réactive. Selon les lignes directrices relatives aux pratiques commerciales et de maintenance, on estime que les entreprises réalisent des économies de l'ordre de 12 à 18 % grâce à la maintenance préventive.

Avantages et procédures de la maintenance préventive

Outre les économies substantielles qu'elle permet de réaliser, la maintenance préventive présente également d'autres avantages :

- la durée de vie des systèmes est prolongée
- les conséquences d'une panne, telles que les coûts supplémentaires ou les atteintes à l'image de l'entreprise, sont évitées
- les frais de réparation sont réduits
- la sécurité des employés est assurée
- différentes activités de maintenance peuvent être combinées
- il est possible d'avoir une meilleure vue d'ensemble du stock de pièces détachées et de réduire les coûts.

Il existe différentes approches pour planifier la maintenance préventive. Dans la méthode basée sur le temps, les entreprises utilisent leurs propres données d'expérience. Les intervalles de maintenance sont planifiés sur la base des périodes précédentes au cours desquelles des défaillances ou des pannes se sont produites (Mean Time Between Failures). La méthode basée sur l'utilisation, quant à elle, prend en compte des valeurs telles que le nombre de cycles ou la durée de vie utile d'une machine, c'est-à-dire l'utilisation réelle et l'usure qui en résulte.

Quelle que soit l'approche choisie, il est possible d'utiliser un outil informatique pour gérer les processus de maintenance, depuis la planification et la programmation des intervalles d'entretien jusqu'au suivi et à l'optimisation : il existe pour cela des logiciels de Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur (GMAO).

Étape 3 : Maintenance préventive : données en temps réel pour une maintenance optimale

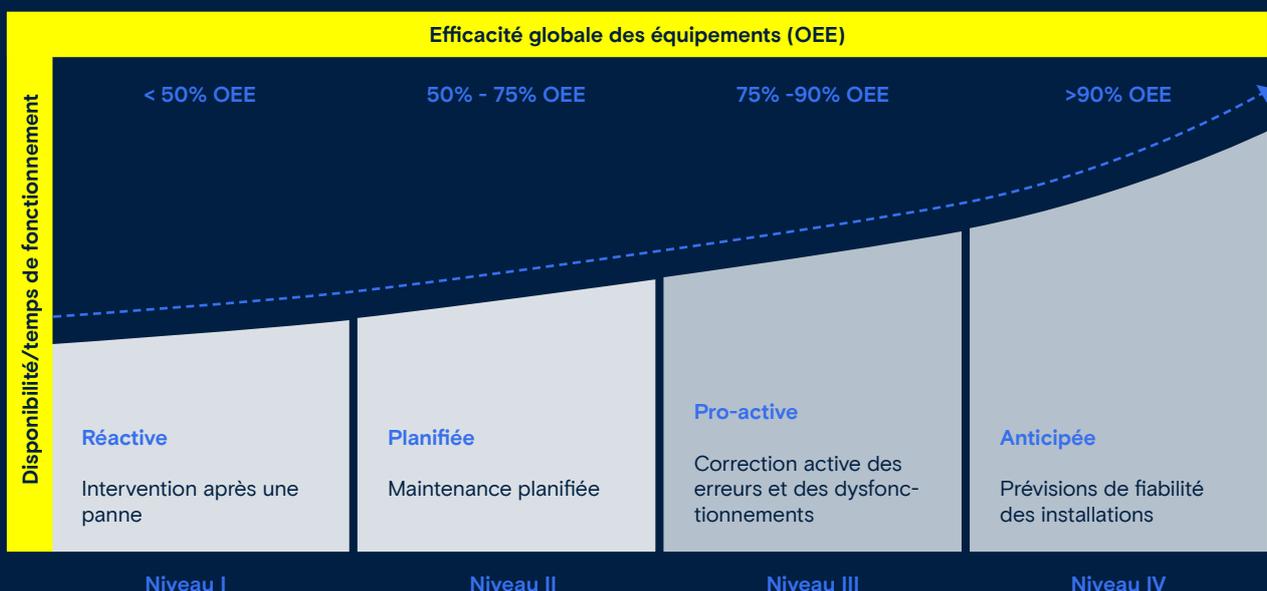
Maintenance préventive vs. prédictive

La maintenance préventive est basée sur des contrôles à intervalles réguliers, indépendamment de l'état réel des machines et des installations. Dans ce cas, les techniciens de maintenance s'appuient sur les meilleures pratiques et les données historiques. Les intervalles de maintenance peuvent être définis avec précision si l'entreprise a une bonne connaissance de ses installations. Cependant, les intervalles d'entretien optimaux (théoriques) établis lors de la maintenance préventive ne sont qu'une approximation. Il faut néanmoins essayer de les définir le plus justement possible : en effet, si la maintenance est effectuée trop tôt, les coûts augmentent et on génère des temps d'arrêt inutiles ; a contrario, si les intervalles de maintenance

sont trop longs, le risque d'arrêt de la production est plus important.

La maintenance prédictive, quant à elle, ne repose pas sur des estimations des périodes d'utilisation et d'usure, mais sur des données en temps réel provenant des machines. L'analyse de ces données permet de déterminer très précisément le moment optimal pour effectuer la maintenance. Les réparations sont ciblées, ce qui permet de réduire les temps d'arrêt de 25 à 30 % par rapport aux autres méthodes de maintenance.

La maintenance prédictive permet de ne pas remplacer des pièces trop tôt (ce qui entraîne des coûts de maintenance élevés) et d'éviter les temps d'arrêt occasionnés par une maintenance trop tardive.



Avantages de la maintenance prédictive



Moins d'accidents
de travail



Planification optimisée
des ressources



Durée de vie des
équipements prolongée



Production
améliorée



Coûts de maintenance
plus faibles



Réduction des
temps d'arrêt

Principes de fonctionne- ment de la maintenance prédictive

Cette méthode de maintenance implique que les machines soient équipées de capteurs numériques, d'appareils de mesure et d'autres outils d'analyse qui capturent toutes les données pertinentes en temps réel. Toutes les données sont ensuite stockées et surtout analysées.

La « surveillance de l'état » joue donc un rôle crucial pour une surveillance électronique précise de l'état des machines, en particulier lorsque les paramètres électriques changent ou lorsqu'un changement se produit très lentement.

L'énorme quantité de données rend nécessaire le recours à des technologies comme l'intelligence artificielle (IA) et l'apprentissage automatique (machine learning). Celles-ci calculent les probabilités de défaillance des machines sur la base des données des capteurs disponibles. Lorsqu'une anomalie est détectée, par exemple des changements minimes de vibration à l'intérieur de la machine, l'équipe de service reçoit une alerte avant que la panne ne se produise.

Autre avantage de ces méthodes : il est possible d'identifier immédiatement l'emplacement de la défaillance ou de l'usure, on dispose ainsi du temps suffisant pour remplacer les pièces défectueuses ou réparer la machine avant qu'elle ne s'arrête. En outre, il n'est plus nécessaire de procéder à un contrôle régulier de l'état de la machine, ce qui est une procédure coûteuse sur le long terme.

De nombreuses entreprises sont convaincues de l'énorme potentiel de la maintenance prédictive. Selon une étude de BearingPoint, 75 % des entreprises interrogées se sont engagées dans cette approche de la maintenance, et une sur trois au-delà de la phase pilote. Cependant, ces chiffres sont à nuancer : même si le recours à cette méthode a augmenté depuis 2017, seules 4 % des entreprises déclarent exploiter pleinement le potentiel de la maintenance prédictive.

Néanmoins, toutes les entreprises sont d'accord sur un point : les investissements en valent la peine. La mise en place de la maintenance prédictive a permis de réduire les coûts de plus de 10 % en minimisant les temps d'arrêt des machines et des installations ainsi que les coûts de maintenance. Le Boston Consulting Group estime même que la réduction des temps d'arrêt non planifiés obtenue grâce à la maintenance prédictive, en utilisant la science des données et l'IA, est de 20 à 40 % et que la réduction des coûts d'exploitation globaux atteint les 10 %.



Maintenance préventive et prédictive en pratique

Dans presque toutes les productions industrielles, il est important de contrôler les éléments essentiels des machines et des installations. Il s'agit notamment d'analyser les vibrations ou les oscillations, d'effectuer l'analyse infrarouge et de surveiller les circuits.

Analyse des vibrations ou des oscillations

Les composants rotatifs, tels que les moteurs, les pompes et les réducteurs, jouent un rôle crucial dans la prévention des défaillances des machines. C'est pourquoi il est essentiel de surveiller et d'analyser les vibrations qu'ils génèrent.

L'analyse des vibrations permet de mesurer et d'analyser les vibrations produites par une machine ou un composant, Ces valeurs sont comparées au schéma vibratoire normal. Lorsqu'une anomalie est détectée, elle peut indiquer un problème comme un déséquilibre, un mauvais alignement, une usure ou un frottement, qui peut entraîner une détérioration et une défaillance à long terme de la machine. Il est alors possible de prendre des mesures correctives.

Un vibromètre sert à effectuer une analyse fiable des vibrations. Ces capteurs externes très sensibles sont généralement fixés à la machine à l'aide d'une base magnétique. Ils garantissent une analyse fiable du comportement vibratoire, même dans des espaces très restreints ou dans des endroits difficiles d'accès puisque les résultats sont affichés directement sur l'écran.

Exemples de vibromètres :
conrad.ch/vibrometres



Vibromètre Voltcraft
VBM-85

L'analyse infrarouge

La surveillance des températures des pièces de machines constitue un autre domaine d'application important de la maintenance préventive et prédictive. L'analyse infrarouge ou la spectroscopie infrarouge sont utilisées pour mesurer et contrôler la température d'une installation. L'analyse infrarouge est particulièrement adaptée aux pièces mobiles.

Un frottement accru au niveau des charnières et des roulements à billes peut ainsi être détecté à temps, avant même que les pièces ne tombent en panne. Les écarts mesurés indiquent si une inspection et/ou une maintenance sont nécessaires. L'analyse infrarouge peut être utilisée pour différentes machines, à condition que la quantité de chaleur émise soit suffisante. Autre avantage : cette analyse peut être effectuée sans contact, ce qui garantit une plus grande sécurité au personnel de maintenance.

On utilise à cet effet des caméras thermiques qui permettent de visualiser immédiatement les points chauds. La plage de température de ces appareils s'étend généralement de -20 à +500 °C, voire +600 °C. Pour les composants critiques des machines, il est judicieux d'archiver les images de la caméra thermique avec les données de température, pour permettre une comparaison entre l'état actuel et les situations antérieures ; la fiabilité de la mesure s'en trouve renforcée.

Exemples de caméras thermiques haute performance

conrad.ch/cameras-thermiques



Caméra thermique
Testo 868s

Surveillance du circuit

La surveillance continue des circuits électriques est essentielle au bon fonctionnement des machines et des installations. C'est le seul moyen d'éviter les surcharges et les éventuels courts-circuits. C'est pourquoi on utilise des interrupteurs de protection qui, en cas de surcharge ou de court-circuit, détectent le circuit concerné et le déconnectent du réseau.

Les interrupteurs de protection surveillent également en permanence les installations et les machines, et signalent au personnel de service, grâce à une alarme, le dépassement d'une limite prédéfinie (valeurs de courant et/ou de puissance par exemple). Une inspection et/ou

une maintenance peuvent alors être effectuées. En outre, les dispositifs servent à surveiller l'alimentation électrique d'une machine. On obtient ainsi une visibilité totale jusqu'au circuit final.

Les disjoncteurs communicants avec surveillance intégrée du courant différentiel constituent la base de la surveillance des circuits. Ces dispositifs sont connectés sans fil à un émetteur-récepteur de données (Powercenter 1000). Cet émetteur-récepteur collecte les valeurs mesurées et les transmet pour analyse à des appareils finaux (PC ou appareil mobile) ou à une interface IoT de niveau supérieur.

Exemples de modules d'acquisition de données et de coupe-circuits



Siemens
7KN11110-0MC00
Powercenter 1000



Disjoncteur Siemens
5SL6016-6MC
5SL6 COM



Disjoncteur Siemens
5SL6016-6MF
5SL6 COM RCM



Disjoncteur anti-incendie Siemens
5SV60166MC16

Les différentes possibilités de surveillance d'un circuit

Message d'avertissement en cas de dépassement d'une valeur

Éviter les coupures grâce à une réponse/intervention précoce

Enregistrement des données de courant, de tension, de fréquence du réseau et de température

Conclusions sur les problèmes d'équipement dans le circuit final

Compteur de cycles de travail, d'heures de fonctionnement et de courts-circuits intégré

Remplacement planifiable des interrupteurs de protection
Maintenance prédictive

Distinction entre l'arrêt volontaire et la coupure liée à une défaillance

Détection simplifiée, ciblée et rapide des erreurs

Mesure des valeurs de courant, d'énergie et de puissance

Répartition de la consommation d'énergie entre l'entrée du réseau et le circuit final

Mesure des courants différentiels sur une large plage de fréquences

Détection précoce et prévention des temps d'arrêt et des défaillances

Réarmement à distance

Fonction de redémarrage automatique
Fonction de redémarrage manuel configurable

Test FI et mesure automatique de la résistance d'isolement

Fonctions complètes pour des tests et une documentation automatisés et programmables

Meilleures pratiques

La mise en place ou la transition vers la maintenance prédictive pose de nombreux défis aux entreprises. Souvent, elles ne savent pas par où commencer : les exemples de bonnes pratiques ci-après peuvent vous aider à optimiser la maintenance dans votre entreprise.



Planifier le projet

Comme pour tout nouveau système, il est essentiel d'établir un projet détaillé et un plan d'action pour les solutions de maintenance prédictive. Il s'agit de fixer des objectifs spécifiques, mesurables, atteignables, réalistes et temporellement définis (méthode SMART). En suivant continuellement les progrès réalisés, les employés peuvent plus facilement accepter les nouvelles exigences et acquérir de nouvelles compétences étape par étape.



En faire moins, c'est mieux

Plutôt que de passer en totalité à des solutions de maintenance prédictive basées sur l'apprentissage automatique, il est préférable de commencer par de petits projets pilotes. L'idéal est de démarrer par une ou deux machines qui s'y prêtent, le temps de se familiariser avec la méthode.



Se préparer et passer à la vitesse supérieure

Une fois que le projet pilote s'est avéré concluant, il est important de passer immédiatement à l'étape suivante. Le point positif, c'est que les solutions de maintenance prédictive peuvent évoluer rapidement : en l'espace de six à douze mois, il est possible de passer de quelques machines connectées à une entreprise entièrement connectée et intelligente.



→ Résumé

Pour les PME du secteur de la fabrication industrielle, l'élaboration de stratégies de maintenance est un facteur essentiel de compétitivité et d'adaptabilité. Les méthodes de maintenance dépassées, telles que la maintenance réactive, ne sont plus adaptées à la complexité et à la mise en réseau des installations de production modernes et entraînent une augmentation rapide des coûts.

La digitalisation pose de nouveaux défis aux entreprises, mais s'avère incontournable à moyen et à long terme. Seules celles qui investissent intelligemment dans leur stratégie de maintenance aujourd'hui resteront compétitives à l'avenir.

Voici les éléments à prendre en compte pour démarrer immédiatement :

- Un équipement optimal pour la maintenance, la production et la sécurité : prévoir, agir, en tirer des avantages
- Instruments de mesure, techniques de mesure de l'environnement, appareils de test et de contrôle : la maintenance prédictive en pratique
- La qualité dans la production industrielle : elle n'est pas possible sans un équipement de base adéquat

Sources

[1] ISA: How Much Is Plant or Facility Downtime Costing You?

<https://blog.isa.org/downtime-factory-plant-industrial-costs-risks>

[2] LokalPlus: „Jede Stunde Maschinenstillstand kostet ein Unternehmen bares Geld,„

<https://www.lokalplus.nrw/olpe/jede-stunde-maschinenstillstand-kostet-ein-unternehmen-bares-geld-51439>

[3] Siemens: SENSEYE PREDICTIVE MAINTENANCE - The True Cost of Downtime 2022

<https://www.lokalplus.nrw/olpe/jede-stunde-maschinenstillstand-kostet-ein-unternehmen-bares-geld-51439>

[4] eMaint: Kosten von Ausfallzeiten in der verarbeitenden Industrie

https://www.emaint.com/de/works/manufacturing_downtime_infographic/#:~:text=Tats%C3%A4chlich%20verliert%20fast%20jede%20Fabrik,Produktion%2C%20Umsatzerwartungen%2C%20Engp%C3%A4sse%20und%20mehr

[5] Industrial Production: Prädiktive oder präventive Wartung?

<https://www.industrial-production.de/instandhaltung/praediktive-oder--praeventive-wartung-htm>

[6] BearingPoint: Predictive Maintenance Studie 2021

<https://www.bearingpoint.com/de-de/insights-events/insights/chancen-und-herausforderungen-von-predictive-maintenance-in-der-industrie/>

[7] Boston Consulting Group: Charting AI's Successful Course in Predictive Maintenance

<https://www.bcg.com/publications/2023/predictive-maintenance-in-manufacturing>

Efficacité globale des équipements (OEE) Source: <https://www2.deloitte.com/uk/en/insights/focus/industry-4-0/using-predictive-technologies-for-asset-maintenance.html>